

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

Japanese Patent Laid-open Publication No. HEI 8-111899 A

Publication date : April 30, 1996

Applicant : Matsushita Denki Sangyo K. K.

Title : BINAURAL ACOUSTIC DEVICE

5

(57) [ABSTRACT]

[OBJECT]

To provide a binaural acoustic device, which is able
to relieve a workload for selecting a transfer function (a
10 parameter).

[CONSTITUTION]

The binaural acoustic device of the present invention
comprises a head external audio image fixing position filter
102 for correcting a fixed position of an audio image,
15 parameter storing means 105 for storing a plurality of
parameters, which define a property of this head external
audio image fixing position filter 102, a headphone 103 having
measuring means for measuring a head shape dimension of a
listener and controlling means 104 for selecting one of
20 parameters, which are stored in the parameter storing means
105, in response to a measuring result of the measuring means
of the headphone 103 and setting a property of the head external
audio image fixing position filter 102.

25 [0006]

This conventional example is characterized by a download function for downloading a head external audio image fixing position filter coefficient. Storing portions 1005 and 1006 of a set of filter coefficients store a space transfer function, which has been measured in advance with respect to many people and typical transfer functions of each direction of a sound field space and an inverse property of a headphone, which are generated by clustering, to be described later, from a real ear headphone transfer function when a headphone is fitted to real ears. On this account, with respect to a head exterior audio image fixing position filter, it becomes possible to select an individual head exterior audio image fixing position filter, which is suitable for a specific person, without measuring a head dimension of this specific person. Alternatively, a sound source storing portion 104 stores a direction fixed position, voice to be recorded in an anechoic chamber room, which is suitable for test-listening of a head exterior sense and a music or the like for about ten seconds.

[0007]

A user is capable of listening a head exterior audio image fixing position filter, which is downloaded sequentially, by using a sound source for testing, which is stored in the sound source storing portion 1004, in advance of using the present device. Download can be performed, in

such a manner that data for folding of the space transfer function storing portion 1005 and data for folding of the headphone inverse transfer function storing portion 1006 are selected and these data are folded to set a filter coefficient of a folding arithmetic portion 1002. If an index of the head exterior audio image fixing position filter, which is most suitable among those auditions, it is possible to use the most suitable filter hereinafter. Therefore, according to this conventional example, it is possible to obtain an effect, which is equivalent to an effect to be obtained by measuring the transfer function, even when the user does not measure the one's transfer function.

[0008]

A principle and an algorithm of this conventional example will be explained below. At first, a principle of this conventional example is explained. A space transfer function $S(t)$ from the sound source to a measuring point in an external ear canal includes an indoor acoustic property and a head portion transfer function of the user, to that this conventional example depends on these conditions. It is known that a head portion transfer function of the user is important for a perception of the user. $H(t)$ is an electric acoustic conversion property in the case that a headphone is fitted on earlaps of the user. It includes a personal difference in a headphone property and a personal difference

in the ear canal shape of the user, a capacity of the ear canal of the user and an ear drum impedance or the like. It is known that a perception is most influenced by a personal difference.

5 [0009]

$S(t)$, a space transfer function in a room of many users and $H(t)$, an electric acoustic conversion property in the case that the headphone is fitted to the earlap portion of the user are measured in advance. $S(t)$ and $H(t)$ can be
10 measured by a cross spectrum method and a time extensional pulse method or the like. For example, these methods are described in a references ("Measuring Method of Impulse Response", Hidaka et al., Material for Japan Acoustical Association Architectural Acoustical Study Group, Material
15 Number AA-89-14 and "Review with reference to a Design Method of Time Extensional Pulse", Suzuki et al., Technical Report of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Material Number EA92-86) in detail. A personal difference in $S(t)$ and $H(t)$ mainly depend on a periphery
20 of a head of each person and a shape of a periphery of an external ear canal. On this account, if $S(t)$ and $H(t)$, which are measured by a person to be measured, who has a similar head shape of the user, can be selected even when $S(t)$ and $H(t)$ are not measured for each person, it is not necessary
25 to measure a head of a user oneself.

[0014]

There are some methods to lower amount calculated and
a memory scale to a real value. According to one of the methods,
5 only an important portion is cut in a time region. Taking
a transfer function waveform shown in Fig. 12 as an example,
this means that an achievement time t and tens of waveform
samples adjacent to a direct sound are only used and amount
calculated becomes a practical scale by lowering resolution
10 in a frequency region and using FFT, in which n is about 5.

[0019]

Next, a classification of a headphone property will
be explained. The headphone property independent of a
15 direction of a sound source and a personal difference of a
phase component is not a big problem, so that it is enough
to perform clustering of a power spectrum. Although the
headphone property is really used as an inversion property,
the headphone property is capable of being treated on
20 clustering in an original response and the inverse property.
If a method, which is described in a clustering section in
a space spectrum in a median plane as it is, data for two
hundred people can be easily classified about $k=8$. Upon
selecting a cluster, which is suitable for a person among
25 the obtained cluster, if a space response and a headphone

inverse response are selected individually, number of times
of trial is changed from $k \times k$ to $2 \times k$. This is more
reasonable than a case that a filter, in which the space
response and the headphone inverse response are folded, is
5 used.

[0024]

[MEANS FOR SOLVING THE PROBLEMS]

A binaural acoustic device described in claim 1
10 comprises a head external audio image fixing position filter
for correcting a fixed position of an audio image, binaural
pronunciation means for converting a signal from this head
external audio image fixing position filter into a voice and
outputting it, parameter storing means for storing a plurality
15 of parameters, which define a property of this head external
audio image fixing position filter, measuring means for
measuring at least any of a head shape dimension of a listener
and an earlap shape dimension of a listener and controlling
means for selecting one of parameters, which are stored in
20 the parameter storing means, in response to a measuring result
of this measuring means and setting a property of the head
external audio image fixing position filter.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

特開平 8-111899

(11) 特許出願公開番号

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 4 月 30 日

(51) Int. Cl.	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H04S 1/00	L			
H04R 1/10	101	Z		
H04S 5/00				

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平 6-247984

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 10 月 13 日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真 1006 番地

(72) 発明者 村木 健司

大阪府門真市大字門真 1006 番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 蔭山 恵

大阪府門真市大字門真 1006 番地 松下電器
産業株式会社内

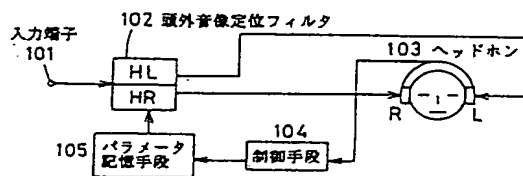
(74) 代理人 弁理士 宮井 暎夫

(54) 【発明の名称】 両耳聴装置

(57) 【要約】

【目的】 伝達関数 (パラメータ) の選択の負担を軽減することのできる両耳聴装置を提供する。

【構成】 音像定位を補正する頭外音像定位フィルタ 102 と、この頭外音像定位フィルタ 102 の特性を規定するパラメータを複数記憶したパラメータ記憶手段 105 と、受聴者の頭部形状寸法を計測する計測手段を有したヘッドホン 103 と、ヘッドホン 103 の計測手段の計測結果に応じてパラメータ記憶手段 105 のパラメータから 1 つを選択して頭外音像定位フィルタ 102 の特性を設定する制御手段 104 とを備えている。



103…ヘッドホン (両耳発音手段、計測手段)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 音像定位を補正する頭外音像定位フィルタと、この頭外音像定位フィルタからの信号を音声に変換して出力する両耳発音手段と、前記頭外音像定位フィルタの特性を規定するパラメータを複数記憶したパラメータ記憶手段と、受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測する計測手段と、この計測手段の計測結果に応じて前記パラメータ記憶手段のパラメータから 1 つを選択して前記頭外音像定位フィルタの特性を設定する制御手段とを備えた両耳聴装置。

【請求項 2】 音像定位を補正する頭外音像定位フィルタと、この頭外音像定位フィルタからの信号を音声に変換して出力する両耳発音手段と、前記頭外音像定位フィルタの特性を規定するパラメータを複数記憶したパラメータ記憶手段と、受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測する計測手段と、この計測手段の計測結果に応じて前記パラメータ記憶手段のパラメータから複数の候補のパラメータを採用して前記頭外音像定位フィルタの特性を設定する制御手段と、前記複数の候補のパラメータのうち 1 つを選択するパラメータ選択手段とを備えた両耳聴装置。

【請求項 3】 パラメータ記憶手段のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数を人間の聴覚特性に対応する特徴パラメータベクトルに変換した後、クラスタリングを行って少数に集約したデータを用いたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の両耳聴装置。

【請求項 4】 パラメータ記憶手段のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数を人間の身体的寸法によりクラスタリングを行い、各クラスタの重心に最も近い人間のデータを用いたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の両耳聴装置。

【請求項 5】 パラメータ記憶手段のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数と実耳ヘッドホン逆伝達関数を人間の身体的寸法によりクラスタリングを行い、各クラスタの重心に最も近い人間のデータを用いたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の両耳聴装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、両耳ヘッドホン（インナーイヤホン型を含む）と、頭外音像定位フィルタを用いて、頭外に音像を定位させる両耳聴装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、ヘッドホンステレオ、ポータブル CD プレーヤなどヘッドホンを用いて音楽を楽しむ機器が普及してきている。これらの機器の再生音をヘッドホンで聴取する場合、再生音像が頭内に定位し、不自然に

聞こえるという問題があった。この問題を解決するため、頭外音像定位フィルタを用いる方法が提案されている（例えば、特公昭 53-283 号公報「ヘッドホンによる音響再現方法」）。この方法は、特定の音源（例えばスピーカ）と聴取者の耳との間の空間伝達関数、および、ヘッドホンと聴取者の耳との間の実耳ヘッドホン伝達関数の逆伝達関数を用いる。ところが、不特定多数の聴取者を想定すると、それぞれの聴取者の頭部形状、耳介形状などが異なるため、これらの伝達関数に個人差があり、これらの差に対応する必要が生ずる。

【0003】 この個人差の問題を解決するものとしては特開平 5-252598 号公報「頭外定位ヘッドホン受聴装置」に開示されている方法がある。この方法は、あらかじめ多くの人の伝達関数を測定し、その中から典型的な伝達関数をいくつか選び出して記憶しておき、使用者が使用時に最適な伝達関数を選択するというものである。

【0004】 以下、図面を参照して従来の両耳聴装置を説明する。図 11 は、第 1 の従来の両耳聴装置の構成を示す。図 11 において、1001 は A/D 変換器、1002 はたたみ込み演算部、1003 は D/A 変換器、1004 は音源記憶部、1005 は空間伝達関数記憶部、1006 は実耳ヘッドホン逆伝達関数記憶部、1007 は入力の切り替えスイッチである。A/D 変換器 1001 の入力には音源に接続されている。たたみ込み演算部 1002 は、左耳用のたたみ込み演算部（L）1002L と、右耳用のたたみ込み演算部（R）1002R とを備え、各出力は 2 チャンネルで構成されている D/A 変換器 1003 のそれぞれのチャンネルでアナログ信号に変換されて両耳ヘッドホン（インナーイヤホン型を含む）に出力される。たたみ込み演算部 1002 の入力、切り替えスイッチ 1007 により切り替えられ、A/D 変換器 1001 のデジタル変換出力または音源記憶部 1004 の出力に接続可能になっている。1008 はタップ付き遅延器、1009 は乗算器群、1010 は加算器であり、これらにより、たたみ込み演算部 1002L、1002R が構成される。

【0005】 図 11 の構成は空間の伝達関数を模擬して音像を頭外に定位させるために必要な頭外音像定位フィルタ（実耳ヘッドホン逆伝達関数と空間伝達関数を畳み込むフィルタ）を示している。この従来例は、実測にもとづく空間伝達関数、実耳ヘッドホン逆伝達関数から分類により生成した頭外音像定位フィルタを用いる頭外音像定位ヘッドホン装置の例であり、記憶部 1005、1006 を設け、その中にあらかじめ少数の典型的なフィルタ係数のセットをデータベースとして記憶させておき、選択によりダウンロード可能としていることを特徴としている。記憶部 1005、1006 に記憶される $S L d i(t)$ は方向 d 、左耳、インデックス i の伝達関数、 $S R d i(t)$ は方向 d 、右耳、インデックス i の

伝達関数、 $H^{-1}_i(t)$ はインデックス i の実耳ヘッドホン逆伝達関数を表している。たたみ込み演算部 1002L、1002R は、タップ付き遅延器 1008 と、この各タップ出力に係数 k_i ($i=0, 1, \dots$) を掛ける乗算器群 1009 と、乗算器群 1009 の乗算結果を加算する加算器 1010 とから構成されている。

【0006】この従来例において特徴的なものは頭外音像定位フィルタ係数のダウンロード機能である。フィルタ係数セットの記憶部 1005、1006 には、多数の人に於いてあらかじめ測定した空間伝達関数、および、実耳にヘッドホンを装着したときの実耳ヘッドホン伝達関数から、後記するようなクラスタリングにより生成された、音場空間の各方向とヘッドホンの逆特性の代表的伝達関数が納められている。これにより頭外音像定位フィルタに関し、本人の頭部を用いた直接の測定を行うことなく、特定の使用者に適する個人頭外音像定位フィルタを選択することが可能となる。また、音源記憶部 1004 には、方向定位、頭外感の試験聴取に適した無響室録音の音声、音楽などが十数秒程度記録されている。

【0007】使用者は本装置の使用に先立ち、音源記憶部 1004 に記憶された試験用音源を用いて、順次ダウンロードした頭外音像定位フィルタの試験をすることができる。ダウンロードは空間伝達関数記憶部 1005 のたたみ込み用データと、ヘッドホン逆伝達関数記憶部 1006 のたたみ込み用データを選択し、これらを畳み込んでたたみ込み演算部 1002 のフィルタ係数を設定することで行われる。それらの試験の中で最も適した頭外音像定位フィルタのインデックスを登録すれば、以後最適なフィルタを使うことができる。したがって、この従来例によれば、使用者が本人の伝達関数の測定を行うことなく、それと等価な効果を得ることができる。

【0008】以下にこの従来例の原理とアルゴリズムを説明する。まず、この従来例の原理を説明する。音源から外耳道測定点までの空間伝達関数 $S(t)$ は、室内音響特性、使用者の頭部伝達関数を含んでいるため、これらの条件に依存する。使用者の知覚にとって重要なものは、使用者の頭部伝達関数であることが知られている。

$H(t)$ はヘッドホンを使用者の外耳部に装着した時の電気音響変換特性であり、ヘッドホン特性の個人差と、使用者の外耳道形状、容量、鼓膜インピーダンスなどによる個人差を含む。知覚に最も影響が大きいものは個人差であることが知られている。

【0009】あらかじめ多数の使用者の、室内における空間伝達関数 $S(t)$ および、ヘッドホンを使用者の外耳部に装着した時の電気音響変換特性 $H(t)$ は測定されている。 $S(t)$ 、 $H(t)$ はクロススペクトル法、時間伸張パルス法などで測定できる。これらの方法は、たとえば文献「日高他「インパルス応答の測定法」日本音響学会建築音響研究会資料 資料番号 AA-89-14、鈴木他「時間引き伸ばしパルスの設計法に関する考

察」電子情報通信学会技術報告 資料番号 EA92-86」に詳しく述べられている通りである。 $S(t)$ 、 $H(t)$ の個人差は、主に、各個人の頭部周辺および、外耳道周辺の形状に依存する。このため、各個人ごとに $S(t)$ 、 $H(t)$ を測定しなくても、使用者によく似た形状の被測定者により測定した $S(t)$ 、 $H(t)$ を選り出すことができれば、使用者本人の測定は不要である。

【0010】 $S(t)$ 、 $H(t)$ のデータベースから使用者に適するものを検索するためには、音源に頭外音像定位フィルタをたたみ込み、聴感上最も自然に頭外感が得られるものを選択すればよい。しかし、数百件に上るデータベースを逐一試験するのは効率が悪い。そこで、あらかじめデータベース上の $S(t)$ 、 $H(t)$ を、それらの類似性を考慮して、かつ、個人差の分布を全ておおうように分類しておき、その中から選択することとする。この分類により、いくつかの代表的な特性のみを記憶することで全特性を表すことができ、また、最適な特性を与える頭外音像定位フィルタの選択も容易となる。

【0011】次に、空間伝達関数の分類方法を説明する。ある個人 i に関して測定した方向 d (正面を 0° 、後方を 180° とする。ここでは便宜上、水平面内の方向で説明するが、3次元の全方向を考慮しても、処理手順は全く同一である) の空間伝達関数を $SLdi(t)$ 、 $SRdi(t)$ とする。ここに、 L は左耳に達する伝達関数、 R は右耳に達する伝達関数を表す。伝達関数を次数 n の FFT 複素スペクトルで表すと 2^n 点の情報が必要である。

【0012】次に最も単純な分類方法を述べる。ある個人の m 個の方向の左右の応答を次数 $L = m \times 2^{(n+1)}$ のベクトルとみなし、 N 人のベクトルを、たとえば、LBG 法によって k 個のクラスに分類し、各クラスの重心を代表応答とする方法である。LBG 法では、 L 次元のベクトル N 個を、まず 2 つのクラスに分類する。分割は、 L 次元のベクトル空間上で最大の固有値を与える固有ベクトルに直交し、重心を通る超平面による。ただし、この分割超平面は厳密である必要はなく、適当に定めてもこの後の逐次最適化処理により、救済される。新たに得られた 2 つのクラスで、それぞれ重心を求め、一方の重心により近いベクトルをそのクラスに含まれるとする方法でクラスを修正する。その修正後のクラスの重心を改めて求める逐次処理により、クラス分割を最適化する。最適化された新たなクラスについて上記手順を繰り返すことにより、 k 個のクラスが得られる。LBG 法によるクラス化手順は、たとえば文献 [Joho Makhoul, Salim Poucos, and Herbert Gish "Vector Quantization in Speech Coding" Proceeding of the IEEE, Vol. 73, No. 11, Nov.

1985) に詳細に述べられている。

【0013】この方法は、伝達関数の物理的特性と知覚との関係を考慮せず、機械的にベクトルの分布を距離尺度により分類する方法であるが、結果的には十分知覚に対応した分類が行われる性質がある。しかし、一般にベクトルの次元は8~10程度であり、非常に次数の高い(たとえば $m=4$ 、 $n=8$ のとき $L=2048$)ベクトルの距離を多数計算し、場合によっては固有値、固有ベクトルの計算もするため効率のよい方法ではない。

【0014】そこで、計算量とメモリ規模を現実的な値に低下させるために、いくつかの方法がある。1つは、時間領域で重要な部分のみを切りとってしまう方法である。これは、図12に示す伝達関数波形を例にとると、波形全体をクラスタリングにかけることなく、到達時間 t と直接音付近の波形数十サンプルのみを用いること、また、周波数領域で分解能を落とし、 n が5程度のFFTを使うことで実用的な規模の計算量とすることである。

【0015】他方は、距離・方向の知覚に関するパラメータを抽出してからクラスタリングを行うもので、以下に、その知覚との対応を考慮する方法の詳細を述べる。人が音源の方向や距離を知覚する手がかりは、方向により異なっていると考えられている。正中面に音源がある場合、左右両耳に同一の波形が加わるため、方向、距離の手がかりはパワースペクトラムである。パワースペクトラムはたとえば線形予測(LPC)分析法によりわずかなパラメータで表すことができ、知覚との対応がよいと言われるLPCケプストラム係数を用いると12次程度の次数で十分である。

【0016】その計算方法は、正中面の伝達関数 $SLD_i(t)$ の自己相関係数から正規方程式を解き、線形予測係数 α_j ($j=0, \dots, J$)を求めた後、 z 領域の対数スペクトラムの性質を用いると、逐次、ケプストラム係数 c_j ($j=0, \dots, J$)を得ることができる。この方法は文献〔古井貞照「ディジタル音声処理」東海大学出版会〕に詳しく述べられている。一例として、 N 人の12次LPCケプストラムのベクトルデータを前述のLBG法により、 k 個のクラスタに分類する。 $N=200$ 、 $k=8$ としても計算量はわずかである。ケプストラムをパラメータに用いたのは、人の知覚がパワースペクトラムのピークに敏感である性質を考慮したものであるが、そのほかのLPCパラメータである声道反射係数、対数面積比、あるいは、線形予測係数などや、FFTパワースペクトルを用いてもクラスタリングが可能であり、それぞれ効果が得られることは言うまでもない。

【0017】斜め方向に音源がある場合、人は左右の耳に加わるスペクトル、位相の差分に対して非常に敏感である。音源が左方向にある場合、 $Sd_i(t) = SRd_i(t) / SLd_i(t)$ は左耳から右耳への伝達関数とみなすことができ、 $Sd_i(t)$ は左右のスペクトラ

ムのレベルと位相の差分を表している。 $Sd_i(t)$ をクラスタリングすることにより知覚に対応のよい分類が可能である。パワースペクトラムについては、 $Sd_i(t)$ に対して前項と全く同じ処理を行えばよい。位相成分は、比較的単調な関数となる性質があるため、 $n=5$ 程度のFFTスペクトラムの位相成分を16次元のベクトルと見なしてクラスタリングを行えば十分である。位相成分のクラスタリングを最も単純化した場合には、左右の耳への到達時間を分類することになる。パワースペクトラム、位相の差分のデータを併せて高々28次のベクトルが得られたら、前記のクラスタリングの手順を実行すればよい。

【0018】上記の手順により、たとえば、 $N=200$ の伝達関数データが $k=8$ にクラスタリングされ、正中面8種類、斜め方向8種類に分類される。使用者は広帯域雑音や無響室録音の音声などの適当な音源をたたみ込み、各方向のフィルタを聴感により選択すれば、わずかな時間で最適なフィルタを選択することができる。方向ごとに異なったクラスタのフィルタが選ばれても使用上何の支障もない。

【0019】次にヘッドホン特性の分類を説明する。ヘッドホンの特性は音源の方向に無関係であり、また、位相成分の個人差が大きな問題になることはないため、パワースペクトラムのクラスタリングを行えば十分である。実際には、逆特性として使用されるが、元の応答でも逆特性でもクラスタリング上は同一に扱い得る。正中面の空間スペクトラムのクラスタリングの項で示した方法をそのまま用いれば、200人のデータが、 $k=8$ 程度に容易に分類できる。得られたクラスタから個人に適するものを選ぶときには、空間応答とヘッドホン逆応答とを畳み込んだフィルタを用いるよりも別々に選択すればその試行回数は $k \times k$ 回から $2 \times k$ 回となり、合理的である。

【0020】次に、第2の従来例について、図13を用いて説明する。第2の従来例は第1の従来例における記憶部1005、1006に記憶する伝達関数の分類手順を示すものである。図13(a)は斜め方向の空間伝達関数のクラスタリングを示し、図13(b)は正中面方向の空間伝達関数およびヘッドホン伝達関数のクラスタリングを示す。

【0021】正面方向の空間応答とヘッドホン応答はLPC分析のみを行う。斜め方向の空間応答はLPC分析と、次数5次程度の粗い精度のFFTを行う。LPC分析の結果得られた線形予測係数 α_j ($j=0, \dots, J$)を用いてケプストラム係数 c_j ($j=0, \dots, J$)を得る。一方、FFTの位相成分として p_j ($j=0, \dots, Jp$)を得る。 Jp は15次程度で十分である。正面方向の空間応答とヘッドホン応答についてはケプストラム係数のクラスタリングを行う。斜め方向の空間応答は、左右のケプストラム係数の差分 $c_j = c_{Lj} - c_{Rj}$ と

FFTの位相成分とを併せてクラスタリングする。ケプストラムは対数スペクトラムを表すため、その差分を計算することは周波数領域の除算結果である $Sd_i(t)$ を時間領域にもどしてからLPCケプストラムを求めるのと等価である。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】しかし、以上のような従来の構成では、最適な伝達関数を選択する操作が煩雑であるという問題点がある。すなわち、従来例では空間伝達関数、ヘッドホン逆伝達関数がそれぞれ8種類ずつ用意されているが、これらを選択するためには最低16回の試験を行わなければならない。最適なものを選ぶためには何回か試験をなおしたりするため、さらに試験回数は増加する。

【0023】この発明は、上記問題点に鑑み、伝達関数（パラメータ）の選択の負担を軽減することのできる両耳聴装置を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の両耳聴装置は、音像定位を補正する頭外音像定位フィルタと、この頭外音像定位フィルタからの信号を音声に変換して出力する両耳発音手段と、頭外音像定位フィルタの特性を規定するパラメータを複数記憶したパラメータ記憶手段と、受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測する計測手段と、この計測手段の計測結果に応じてパラメータ記憶手段のパラメータから1つを選択して頭外音像定位フィルタの特性を設定する制御手段とを備えている。

【0025】請求項2記載の両耳聴装置は、音像定位を補正する頭外音像定位フィルタと、この頭外音像定位フィルタからの信号を音声に変換して出力する両耳発音手段と、頭外音像定位フィルタの特性を規定するパラメータを複数記憶したパラメータ記憶手段と、受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測する計測手段と、この計測手段の計測結果に応じてパラメータ記憶手段のパラメータから複数の候補のパラメータを採用して頭外音像定位フィルタの特性を設定する制御手段と、複数の候補のパラメータのうち1つを選択するパラメータ選択手段とを備えている。

【0026】請求項3記載の両耳聴装置は、請求項1または2記載の両耳聴装置において、パラメータ記憶手段のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数を人間の聴覚特性に対応する特徴パラメータベクトルに変換した後、クラスタリングを行って少数に集約したデータを用いたことを特徴とする。請求項4記載の両耳聴装置は、請求項1または2記載の両耳聴装置において、パラメータ記憶手段のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数を人間の身体的寸法によりクラスタリングを行い、各クラスタの重心に最も近い人間のデータを用いたことを特徴

とする。

【0027】請求項5記載の両耳聴装置は、請求項1または2記載の両耳聴装置において、パラメータ記憶手段のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数と実耳ヘッドホン逆伝達関数を人間の身体的寸法によりクラスタリングを行い、各クラスタの重心に最も近い人間のデータを用いたことを特徴とする。

【0028】

【作用】請求項1記載の構成によれば、計測手段により受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測し、制御手段がその計測結果に応じてパラメータ記憶手段のパラメータを1つ選択する。頭外音像定位フィルタは選択されたパラメータによって特性を規定され、その特性で入力信号を処理する。また、請求項2記載の構成によれば、計測手段により受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測し、制御手段がその計測結果に応じてパラメータ記憶手段のパラメータから複数の候補のパラメータを採用し、パラメータ選択手段により複数の候補のパラメータのうち1つを選択することによって、頭外音像定位フィルタは選択されたパラメータによって特性を規定され、その特性で入力信号を処理する。受聴者は頭外音像定位フィルタで処理された信号を両耳発音手段で聴くことになるが、そのフィルタ特性は受聴者の頭部形状あるいは耳介形状に応じて選択されたものであり、正しい音響定位が得られる。

【0029】

【実施例】以下、図面に基づきこの発明の説明を行う。第1の実施例ではヘッドホンのヘッドバンドとハンガがスライド可能な構造になっており、これらの位置関係をもとに、頭外音像定位フィルタのパラメータを選択する場合について述べる。

【0030】図1はこの発明の第1の実施例の両耳聴装置の構成を示すブロック図である。図1において、101は信号入力端子、102は入力信号を処理する頭外音像定位フィルタ、103は頭外音像定位フィルタ102の出力を再生するとともに、ヘッドバンドとハンガの位置関係を出力するヘッドホン（両耳発音手段、計測手段）、104はヘッドホン103のヘッドバンドとハンガの位置関係に応じてパラメータを選択する制御手段、105はあらかじめ頭外音像定位フィルタ102の少数の典型的なパラメータを記憶しておくパラメータ記憶手段である。

【0031】図2はヘッドホン103の構造を示す図である。図2において、201は左耳用のドライバ（図示せず）を収納する左ハウジング、202は左ハウジング201を保持する左ハンガ、203は右耳用信号を再生する右ドライバ、204は右ドライバ203を収納する右ハウジング、205は右ハウジング204を保持する右ハンガ、206は左ハンガ202と右ハンガ205を

保持するヘッドバンド、207は左右のドライバに信号を供給し、形状計測結果を出力する入出力コードである。左ハンガ202および右ハンガ205は、ヘッドバンド206とスライド可能であり、左ハウジング201、右ハウジング204の位置を調整できる構造になっている。

【0032】以上のように構成された第1の実施例の両耳聴装置について、以下その動作を説明する。まず、両耳聴距離とパラメータ記憶手段105のパラメータの関係について説明する。従来例の斜め方向に音源がある場合の項目で説明した通り、位相成分のクラスタリングを最も単純化した場合には、音源から左右の耳への到達時間を分類することになる。一方、左右の耳への到達時間は頭部の形状により決まる。最も単純なモデルとして、水平面において頭を円とみなし、斜め方向から平面波（波長に比べて音源が十分遠方にある場合）が入射した場合を図3に示す。このとき両耳間の行程差 Δs は（数1）で表される。

【0033】

【数1】 $\Delta s = (D/2) (\phi + \sin \phi)$

ここにDは両耳間距離、 ϕ は音源方向である。すなわち、音源方向 ϕ が決まれば、両耳間距離Dと行程差 Δs は比例する。よって、両耳間距離Dをインデックスとして、パラメータ記憶手段105に記憶する典型的なパラメータを選択すれば、適切なパラメータが選択できる。

【0034】両耳間距離Dは、日本人成年男性の場合150～180mmに含まれる。この範囲をクラスタリングにより得られた典型的なフィルタパラメータに割り付け、制御手段104から選択できるようにパラメータ記憶手段105に記憶させておく。つぎに使用手順を説明する。使用者は使用に先だって、ヘッドホン103の左ハウジング201と右ハウジング204を左右の耳の位置に調節する。これによりヘッドバンド206と左ハンガ202および右ハンガ205との位置関係が決まる。ヘッドバンド206と左ハンガ202および右ハンガ205との位置関係は制御手段104に入力される。なお、位置関係の測定方法の詳細は後で説明する。

【0035】制御手段104でヘッドホン103からの計測値をもとにパラメータ記憶手段105のパラメータを選択し、頭外音像定位フィルタ102へダウンロードすれば、使用者に適した音像定位が実現する。次に、ヘッドホン103のヘッドバンド206と左ハンガ202および右ハンガ205との位置関係の測定方法について説明する。

【0036】図4はヘッドバンド206と右ハンガ205の接続部の構造を示す図で、図4(a)は正面からみた図、(b)は断面図である。なお、ヘッドバンド206と左ハンガ202の接続部の構造も図4と同様である。図4において、401はヘッドバンド206の芯になる板ばね、403は鋼球、404は鋼球403を右ハ

ング205に押しつけるばね、405はヘッドバンドカバー、406、407は板ばね401、ばね404およびヘッドバンドカバー405を固定する下カバーおよび上カバー、408は第1のスイッチ、409は第2のスイッチ、410は第3のスイッチである。

【0037】板ばね401はその長手方向の両端近くに長さ40mm、幅10mm程度の長方形の穴401aを設け、この穴401aに右ハンガ205の先端を差し込み、40mm程度の範囲でスライドできるように構成されている。また、右ハンガ205の表面には1mm×3mm程度の溝402aが設けられており、この溝402aにばね404により鋼球403を押しつけることにより、使用中に右ハンガ205がスライドするのを防いでいる。下カバー406と上カバー407はねじ（図示せず）で固定される。このねじ穴411の部分は右ハンガ205のガイドを兼ね、右ハンガ205はねじ穴411の間を通過して動く。右ハンガ205および左ハンガ202は絶縁材または絶縁材でコーティングされた材料で作られている。

【0038】第1のスイッチ408、第2のスイッチ409、第3のスイッチ410は、右ハンガ205の端が図4の下側（板ばね401の端側）にあるときは導通しているが、右ハンガ205が上にスライドしてくると第3のスイッチ410、第2のスイッチ409、第1のスイッチ408の順に導通が無くなる。よって、どのスイッチが導通しているかを調べれば、板ばね401と右ハンガ205の位置関係がわかる。板ばね401と左ハンガ202の位置関係の測定方法についても同様である。

【0039】ヘッドバンド206の両端に、図4のように3個のスイッチ408、409、410を設ければ、7段階の位置検出が可能になる。このようにして得た測定結果をもとに制御手段104がパラメータを選択する。以上のようにこの実施例によれば、ヘッドホン103のハウジング201、204を耳位置に調節することにより、自動的に頭外音像定位フィルタ102の最適なパラメータが選択され、使用者の選択の負担を軽減する両耳聴装置を実現することができる。

【0040】なお、第1の実施例では、ヘッドホン103のヘッドバンド206とハンガ202、205の位置関係から頭部形状を測定したが、頭部形状の測定はこれ以外にも様々なものが考えられる。例えば、頭部装着型ディスプレイとインナーイヤー型のインサイドホンを組み合わせた機器について説明する。図5は頭部装着型ディスプレイを展開した図である。図5において、501は筐体、502は筐体501に取り付けられた左ヘッドバンド、503は筐体501に取り付けられた右ヘッドバンド、504は左ヘッドバンド502と右ヘッドバンド503を結ぶ後ヘッドバンド、505は筐体501に固定される光学系ホルダ、506は光学系ホルダ505に水平方向に動かすことが可能なように取り付けられ、

映像を再生する左光学系、507は光学系ホルダ505に水平方向に動かすことが可能なように取り付けられ、映像を再生する右光学系、508は筐体501に水平方向に動かすことが可能なように取り付けられ、左光学系506と一体となって水平方向に動くことにより左光学系506の水平方向位置を調節できる左光学系スライダ、509は筐体501に水平方向に動かすことが可能なように取り付けられ、右光学系507と一体となって水平方向に動くことにより右光学系507の水平方向位置を調節できる右光学系スライダ、510は左耳用の信号を再生する左インサイドホン、511は右耳用の信号を再生する右インサイドホン、512は筐体501に固定されるカバーである。

【0041】光学系ホルダ505、左光学系506、右光学系507は筐体501に取り付けられ、使用者は筐体501の左ウインド513から左光学系506の再生映像を、右ウインド514から右光学系507の再生映像を見る。カバー512は、光学系ホルダ505、左光学系506、右光学系507が筐体501に取り付けられた後、取り付けられる。

【0042】左ヘッドバンド502と後ヘッドバンド504は、図4に示した板ね401と右ハンガ205と同様な構造で長さを調節できるとともに、その位置関係も測定することができる。右ヘッドバンド503と後ヘッドバンド504も同様である。したがって、図5の頭部装着型ディスプレイは使用者の頭周長を測定することができる。頭周長と両耳間距離が比例するとすれば、第1の実施例と同様にして頭外音像定位フィルタのパラメータを選択でき、左インサイドホン510、右インサイドホン511により頭外音像定位信号を再生できる。

【0043】また、左光学系506、右光学系507は、左光学系スライダ508、右光学系スライダ509により位置を調節できるが、左光学系スライダ508および右光学系スライダ509を、図4と同様な構造にすることで位置を測定することができる。これにより、使用者の両眼間距離が測定できる。両眼間距離と両耳間距離が比例するとすれば、第1の実施例と同様にして頭外音像定位フィルタのパラメータを選択でき、左インサイドホン510、右インサイドホン511により頭外音像定位信号を再生できる。

【0044】次に第2の実施例について説明する。第2の実施例ではヘッドホンのヘッドバンドとハンガがスライド可能な構造になっており、これらの位置関係をもとに、頭外音像定位フィルタのパラメータ候補を複数個に絞った後、この中から使用者が自分で最適なものを選択する場合について述べる。

【0045】図6はこの発明の第2の実施例の両耳聴装置の構成を示すブロック図である。図6において、601は信号入力端子、602は入力信号を処理する頭外音像定位フィルタ、603は頭外音像定位フィルタ602

の出力を再生するとともに、ヘッドバンドとハンガの位置関係を出力するヘッドホン（両耳発音手段、計測手段）、604は使用者がパラメータを選択するためのパラメータ選択手段、605はヘッドホン603のヘッドバンドとハンガの位置関係に応じてパラメータ候補を選択する制御手段、606はあらかじめ頭外音像定位フィルタ602の少数の典型的なパラメータを記憶しておくパラメータ記憶手段である。ヘッドホン603の構成は図2に示した第1の実施例と同じである。

10 【0046】図7はパラメータ選択手段604の外観を示す図である。図7のパラメータ選択手段604は使用者が操作しやすいようにヘッドホン603のケーブルの途中に設けられている場合を示してある。ヘッドホンケーブルには、右耳用および左耳用の信号線、ヘッドバンドとハンガの位置関係を出力するための信号線、そして、パラメータ選択のための信号線が納められている。図7において、701は本体、702はプッシュスイッチ、703は表示部である。

20 【0047】以上のように構成された第2の実施例の両耳聴装置について、以下その動作について説明する。まず、両耳間距離とパラメータ記憶手段606のパラメータの関係について説明する。従来例の斜め方向に音源がある場合、項目で説明した通り、位相成分のクラスタリングを最も単純化した場合には、音源から左右の耳への到達時間を分類することになる。一方、左右の耳への到達時間は頭部の形状により決まる。第1の実施例で説明したように、音源方向 θ を固定して考えれば、両耳間距離 D と行程差 Δs は比例する。よって、両耳間距離をインデックスとすれば、パラメータ記憶手段606に記憶する典型的なパラメータの中から使用者の両耳間距離に適したパラメータが選択できる。

30 【0048】しかし、両耳間距離以外にも、たとえば頭の垂直方向の長さ、前後方向の長さ、耳介形状など、頭外音像定位フィルタのパラメータに影響する要因はある。これらの要因を考慮して、使用者の両耳間距離に最も近いパラメータを第1候補、第1候補よりも両耳間距離が短いパラメータと長いパラメータを第2候補群として、これらのパラメータを頭外音像定位フィルタ602にダウンロード、試聴して、最適なパラメータを選択する。

40 【0049】つぎに使用手順を説明する。図8は使用手順のPAD（Program analysis diagram問題分析図、プログラム開発に用いる図面）である。使用者は使用に先だって、ヘッドホン603の左ハウジング201、右ハウジング205を左右の耳の位置に調節する（ステップ1）。これによりパラメータ選択モードになる。ヘッドバンド206と左ハンガ202および右ハンガ205との位置関係が調整により決まると、ヘッドバンド206と左ハンガ202および右ハンガ205との位置関係は制御手段605に入力される。

【0050】制御手段605はヘッドホン603からの計測値をもとにパラメータ記憶手段606から第1候補のパラメータを選択し、頭外音像定位フィルタ602へダウンロードする。使用者はまず、第1候補のパラメータにより処理された音を聴く。この時パラメータ選択手段604の表示部703は“0”を表示する(ステップ2)。次に使用者はプッシュスイッチ702を操作する(ステップ3)。プッシュスイッチ702が1〔s〕以内の時間押されるたびに、制御手段605は順次、第1候補よりも両耳間距離が短い第2候補パラメータ(ステップ4)、第1候補よりも両耳間距離が長い第2候補パラメータ(ステップ6)を順に選択し、パラメータ記憶手段606から頭外音像定位フィルタ602へダウンロードする。この時、パラメータ選択手段604の表示部703は“0”、“-”、“+”を順に表示する。使用者がパラメータを決めたら、そのパラメータにより処理された音が出力されているときにプッシュスイッチ702を2〔s〕以上押し続けると、パラメータが確定し再生モードになる。このとき、表示部703は選択されたパラメータのインデックス番号を表示する。

【0051】また、再生モードでヘッドバンドを調節すれば、再びパラメータ選択モードに入る。再生モードでプッシュスイッチ702を2〔s〕以上押し続けるとマニュアル操作モードになる。マニュアル操作モードは従来例と同じで、プッシュスイッチ702が1〔s〕以内の時間押されるたびにパラメータを順次頭外音像定位フィルタ602にダウンロードする。プッシュスイッチ702を2〔s〕以上押し続けると、パラメータが確定し、再生モードにもどる。

【0052】以上のように第2の実施例によれば、ヘッドホン603のハウジング201、204を耳位置に調節することにより、自動的に頭外音像定位フィルタ602のパラメータ候補が選択される。使用者はパラメータ選択手段604により候補の中から自分に適したパラメータを選択すれば良いので、パラメータ選択の負担が軽減される。

【0053】次に、第3の実施例について説明する。第3の実施例は、第1、第2の実施例におけるパラメータ記憶手段105、606に記憶するパラメータに関するものであり、構成および動作は第1または第2の実施例に示した通りである。斜め方向からの音に関しては、両耳間の時間差、レベル差が方向知覚の支配的な要因であり、実耳ヘッドホン逆伝達関数を畳み込まなくとも頭外音像定位が可能である。第3の実施例では、空間伝達関数を人間の聴覚特性に対応する特徴パラメータベクトルに変換した後、クラスタリングを行って少数に集約したデータをパラメータ記憶手段105、606に記憶させる。クラスタリングの方法については、第2の従来例の斜め方向の空間伝達関数のクラスタリングの項目で説明した通りである。

【0054】第3の実施例では、空間伝達関数のみを用いるので、従来例に比べ記憶手段が小さくて済む。また、実耳ヘッドホン逆伝達関数を選択する必要が無く、パラメータ選択の負担が軽減される。次に、第4の実施例について説明する。第4の実施例は、パラメータ記憶手段105、606のパラメータとして、多数の人間のあらかじめ測定された空間伝達関数を人間の身体的寸法によりクラスタリングを行い、各クラスターの重心に最も近い人間のデータを用いた場合の実施例である。構成および動作は第1または第2の実施例に示した通りである。すなわち、第4の実施例は、第1、第2の実施例におけるパラメータ記憶手段105、606に記憶する伝達関数の分類手順を示すものである。

【0055】空間伝達関数および実耳ヘッドホン逆伝達関数は、データベースとしてファイルに収録されている。一方、伝達関数を測定した人間の頭部、耳形状もデータベースとしてファイルに収録されている。図9

(a)に頭部、(b)に耳介の計測項目を示す。図9

(a)において、tは耳珠点、orは眼窩点、901は最大頭長、902は最大頭幅、903は頭耳高、904は全頭高、905は外耳道の頭幅(両耳間距離)、906は頭周である。図9(b)において、911は相貌学耳長、912は相貌学耳幅、913は形態学耳長、914は形態学耳幅、915は耳介上端から耳輪脚までの距離、916は耳介下端から耳輪脚までの距離、917は耳甲介長、918は耳甲介幅、919は耳底線が鉛直線となす角の側面投影角、920は耳介の突出長、921は耳介の突出角である。901~906、911~921の各測定値をベクトルの要素として、従来例で説明したのと同様な方法でクラスタリングを行い、各クラスターの重心となった人の空間伝達関数、実耳ヘッドホン逆伝達関数を代表として選びパラメータ記憶手段105、606に記憶する。

【0056】パラメータ記憶手段105、606に記憶されたパラメータの選択方法は、第1、第2の実施例で述べた方法と同様である。ただし、計測手段で測定する量がクラスタリング時に用いられた測定量と同じである場合には、その量をインデックスとしてパラメータを選択してもよい。たとえば、頭部装着型ディスプレイで頭周を測定できる場合には、パラメータ選択時にパラメータ選択のインデックスとしても頭周を用いることができる。また、第2の実施例で説明した、計測手段の結果でパラメータの候補を選択する例で、クラスタリング結果が頭部形状と耳介形状の2次元分割とみなせる場合、頭部形状は同じで、耳形状が異なるものを候補として提示することができる。このような場合には、候補パラメータの中から最適なものを選択するときに耳：大、中、小などの表示をすれば使用者の選択がいっそう楽になる。

【0057】なお、第4の実施例において、実耳ヘッドホン逆伝達関数を用いずに、空間伝達関数のみを用いて

もよい。さらに、耳介形状寸法を測定するための計測手段の例として、図10に、耳介形状寸法として相貌学耳長911（図9参照）を測定するためのヘッドホンの構成を示しておく。図10において、10a～10fはスイッチ、301はハウジング、302はドライバ、303はイヤerpッド、304は耳介である。

【0058】図10はヘッドホンを頭部に装着した状態を示し、この状態でスイッチ10b、10c、10d、10eが押されている。相貌学耳長911（図9参照）が長い場合には全てのスイッチ10a～10fが押されることになる。逆に短い場合には、全てのスイッチ10a～10fが押されないことになる。したがって、スイッチ10a～10fがいくつ押されているかにより、使用者の相貌学耳長911（図9参照）を測定することができる。

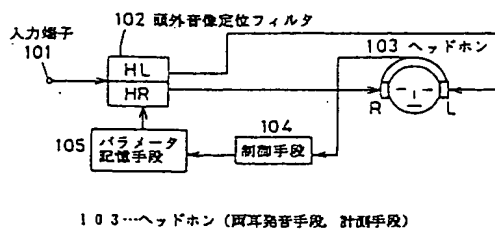
【0059】このようにして測定された相貌学耳長911（図9参照）をもとにパラメータの候補を選択することが可能となる。

【0060】

【発明の効果】請求項1記載の両耳聴装置は、計測手段により受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測し、制御手段がその計測結果に応じてパラメータ記憶手段のパラメータを1つ選択するため、受聴者のパラメータ選択の負担を軽減できるという実用上優れた効果を有するものである。

【0061】また、請求項2記載の両耳聴装置は、計測手段により受聴者の頭部形状寸法および耳介形状寸法のうち少なくともどちらか一方を計測し、制御手段がその計測結果に応じてパラメータ記憶手段のパラメータから複数の候補のパラメータを採用し、パラメータ選択手段により受聴者が複数の候補のパラメータの中から1つを選択すればよく、受聴者のパラメータ選択の負担を軽減できるという実用上優れた効果を有するものである。

【図1】



【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施例の両耳聴装置の構成を示すブロック図。

【図2】この発明の実施例におけるヘッドホンの構造を示す図。

【図3】斜め方向から平面波が入射したときの両耳間行程差を示す図。

【図4】この発明の実施例におけるヘッドホンのヘッドバンドとハンガ接続部の構造を示す図。

10 【図5】この発明の実施例における頭部装着型ディスプレイを展開した図。

【図6】この発明の第2の実施例の両耳聴装置の構成を示すブロック図。

【図7】この発明の第2の実施例におけるパラメータ選択手段の外観を示す図。

【図8】この発明の第2の実施例における使用手順を説明するための図。

【図9】(a)は頭部の計測項目、(b)は耳介形状の計測項目を示す図。

20 【図10】耳介形状寸法として相貌学耳長を測定するためのヘッドホンの構成を示す図。

【図11】第1の従来例の両耳聴装置の構成を示すブロック図。

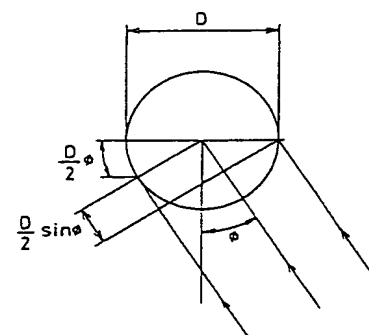
【図12】空間伝達関数の例を示す時間領域の波形図。

【図13】第2の従来例における伝達関数の分類手順を示す手順図。

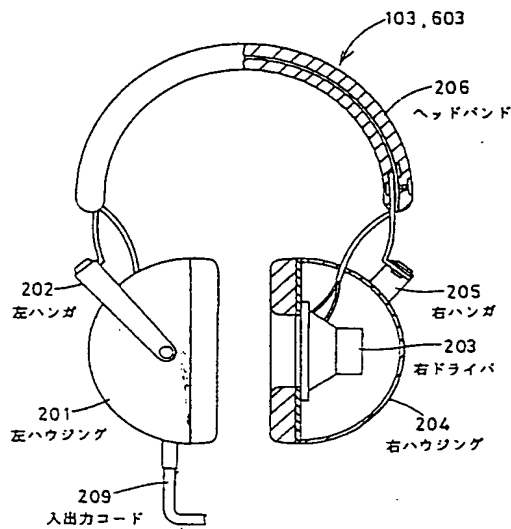
【符号の説明】

101, 601 信号入力端子
102, 602 頭外音像定位フィルタ
103, 603 ヘッドホン
104, 605 制御手段
105, 606 パラメータ記憶手段
604 パラメータ選択手段

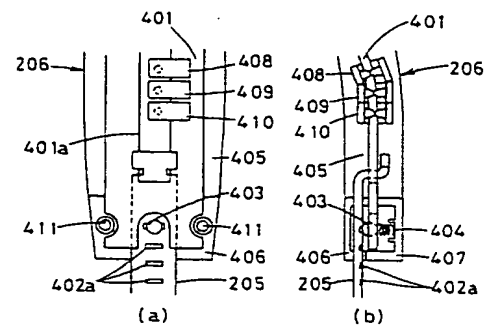
【図3】



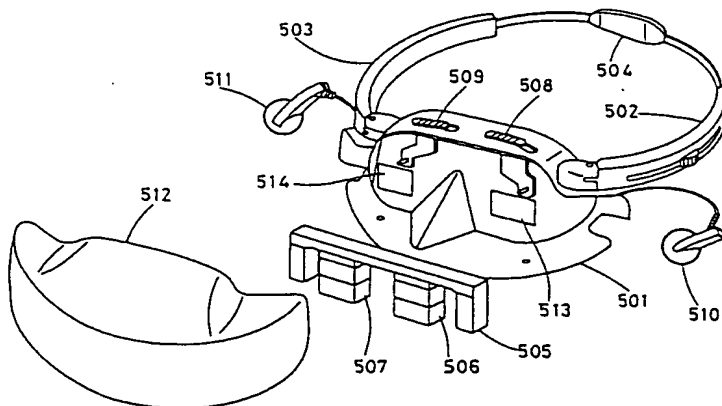
【図 2】



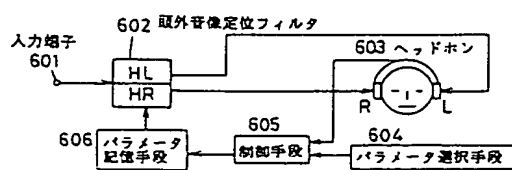
【図 4】



【図 5】

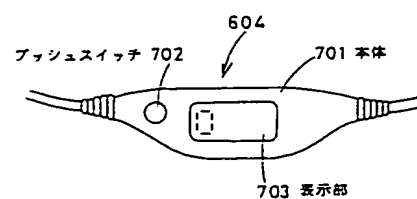


【図 6】

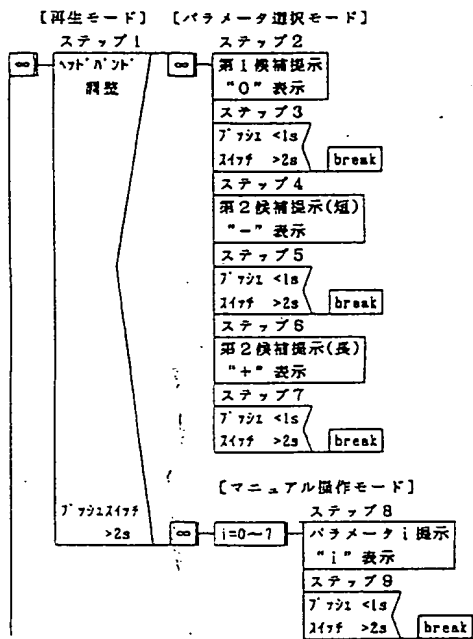


603...ヘッドホン (両耳発音手段、計測手段)

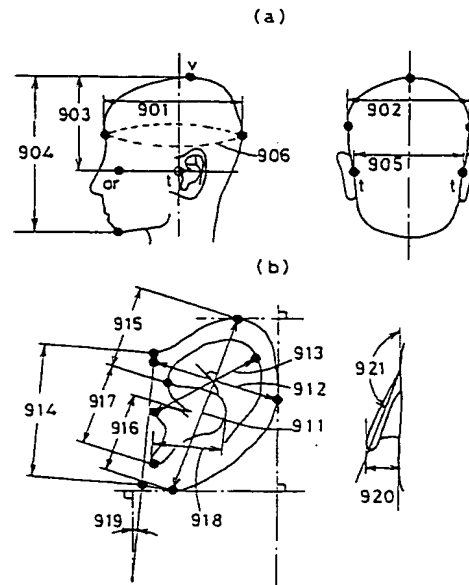
【図 7】



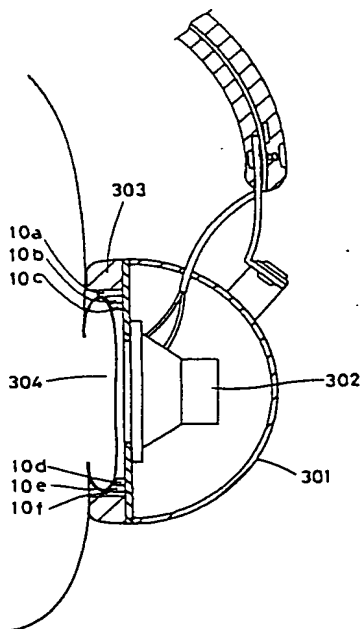
【図 8】



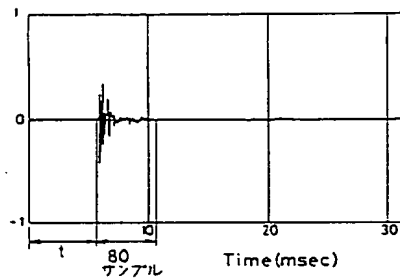
【図 9】



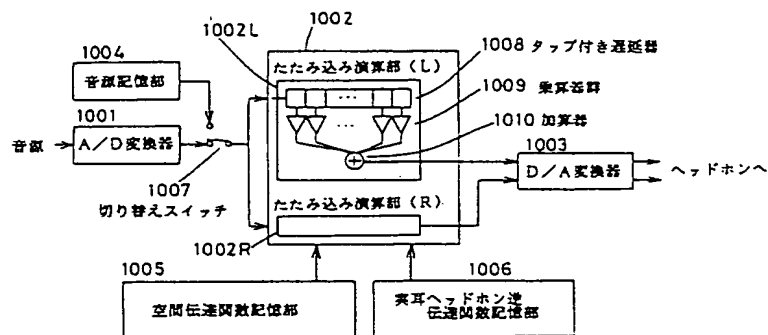
【図 10】



【図 12】



【図 11】



【図 13】

